



Levantamiento del comedor del IETcc: una crónica de la innovación en la representación de edificios

Survey of IETcc dining room: a chronic of innovation in buildings representation

P. Casinello (*), M. Álvarez (*), R. Rodríguez (*), M. Miranda (*), L. A. Ramos (*), V. Azorín (**)

RESUMEN

En este artículo se presenta un avance más en el proceso de aplicación de las últimas técnicas de adquisición de datos para la documentación del archivo de planos del IETcc, en el año en el que se celebra el 80 aniversario de su construcción.

En este trabajo se expone la realización del levantamiento del comedor de personal, elemento singular del edificio, que ha sufrido modificaciones a través del tiempo. En una etapa posterior se editarán los datos, para realizar los planos que permitan la comparación con los que se conservan en el archivo del IETcc.

Se ha utilizado el escáner láser, que ha pasado de ser una tecnología emergente a ser una técnica presente, útil y una alternativa real a la fotogrametría terrestre en las labores de reconocimiento y análisis del patrimonio arquitectónico.

Palabras clave: Escáner Láser; Modelos 3D; representación arquitectónica; levantamiento arquitectónico.

ABSTRACT

This paper presents an advance in the process of implementation of the latest techniques of data acquisition for the documentation of the IETcc's file archives, in the year of its the 80 anniversary of its construction.

This work presents the survey of the staff-dining room, which is a singular element of the building, that has suffered several modifications through the years. In a further step the data will be edited, to make plans that allow comparison with those kept on the IETcc archives.

A laser scanner equipment has been used in this work, due to the fact that this technology has been transformed from an emerging technology to a current, useful and a real alternative to the terrestrial photogrametry in the survey and analysis of the architectural heritage.

Keywords: Laser-Scanner; 3D Models; architectural representation; architectural survey.

(*) Universidad Politécnica de Madrid. (España).

(**) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: marina.alvarez@upm.es (M. Álvarez)

Cómo citar este artículo/Citation: Casinello, P., Álvarez, M., Rodríguez, R., Miranda, M., Ramos, L. A., Azorín, V. (2014). Levantamiento del comedor del IETcc: una crónica de la innovación en la representación de edificios. *Informes de la Construcción*, 66(536): e039, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.023>.

Licencia/License: Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de *Informes de la Construcción* se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento no Comercial 3.0. España (cc-by-nc).

1. INTRODUCCIÓN

En 1951 Eduardo Torroja presenta el anteproyecto de un edificio donde instalar la nueva sede del IETcc en Chamartín.

El programa comprende un edificio central con cuatro cuerpos donde se alojan los talleres, laboratorios, salas de estudio, biblioteca, administración y servicios generales. Se proyectó otro edificio donde se instalaría una planta piloto de fabricación de cementos y otras instalaciones para ensayos a escala.

Los planos se realizaron con las técnicas propias de la época existiendo una modulación general de la obra según un módulo único de 1,60 m.

En el diseño del edificio se prestó particular atención al comedor de empleados. De forma circular, unido al exterior, está constituido por una estructura metálica en forma de rotunda y en voladizo, cerrada por puertas correderas de cristal parecidas a las de un hangar de aviación que se pueden desplazar lateralmente. Tiene un jardín de invierno central, cubierto con una celosía que permite la iluminación cenital, rodeado de soportes que sostienen el voladizo de cubierta. Este edificio ha sufrido diversas modificaciones a lo largo del tiempo, dando lugar a que los planos originales ya no representan fielmente la realidad.

En 2007, a la vista de la situación de conservación en que se encontraban los planos originales, Virtudes Azorín, Pepa Casinello y Juan Monjo decidieron aplicar técnicas informáticas disponibles en ese momento. Digitalizaron los planos originales conservados e iniciaron la organización de los fondos del archivo, en el marco del proyecto de investigación «El fondo documental generado por Eduardo Torroja en el IETcc como memoria histórica en el proceso de transferencia tecnológica en ciencias de la Construcción» (HUM2007-65543/HIST). El objetivo era su conservación en las mejores condiciones posibles.

Continuando con la progresiva aplicación de las últimas técnicas de representación arquitectónica, y con el fin de obtener una información arquitectónica actualizada del comedor, en 2014 se llevó a cabo la realización del levantamiento del comedor de personal utilizando escáner láser para interiores y exteriores.

El láser escáner es un sensor activo que emite un pulso electromagnético que al rebotar en un objeto, es capaz de calcular la posición del mismo usando la técnica de radiación (1) (cálculo de las coordenadas desconocidas de un punto mediante la observación angular y de distancia desde un punto de coordenadas conocidas). Se trata de una técnica no intrusiva que permite conocer el estado métrico y radiométrico de un determinado edificio.

Está basado en el principio de medida electrónica de distancias (*EDM; Electronic Distance Measurements*) cuya precisión y alcance depende fundamentalmente de la longitud de onda del pulso electromagnético emitido. Trabaja en la zona del espectro que va desde los 492 nm a los 577 nm y a distancias que oscilan entre los pocos metros a varios kilómetros (2). Además permite obtener datos sobre la reflectancia del objeto (relacionado con el nivel de intensidad de la señal recibida).

El escaneado láser 3D permite la captura automatizada de manera sistemática de grandes nubes de puntos, a altas fre-

cuencias (inicialmente cientos o miles de puntos por segundo), en tiempo casi real y junto con valores de intensidad o color asociados (3). Permiten integrar imágenes capturadas con una cámara externa o integrada de alta resolución.

Esta es la solución adoptada en este trabajo con la cual se obtienen modelos fotorrealísticos de calidad mediante un ajuste en bloque lanzando procesos de texturización multi-imagen (4) (5) (6). También se pueden obtener productos multimedia, videos y animaciones 3D, como aplicaciones de realidad aumentada.

1.1. Objetivos

El objetivo fundamental de este trabajo es la realización del levantamiento del edificio del comedor del ITEcc. La consecución de este objetivo pasa por el desarrollo de los siguientes puntos:

- Acceder directamente a las coordenadas XYZ proporcionadas por el escáner en lugar de a los datos crudos.
- Disponer de datos métricos para utilizar en tareas de planificación, diagnóstico, tratamiento y monitorización (7)
- Realizar la medida en 3D en cortos períodos de tiempo.

En una etapa posterior al trabajo que aquí se presenta se acometerán los siguientes objetivos:

- Disponer de los planos actuales de un elemento arquitectónico que ha sufrido modificaciones con respecto a los originales.
- Realizar una comparación entre los planos 2D originales del proyecto original y la información 2D resultantes del levantamiento.
- Usar modelos 3D para realizar el análisis de formas, dimensiones, y la reconstrucción y monitorización de escenarios u objetos complejos a través del tiempo.

1.2. Antecedentes

La documentación patrimonial a partir de imágenes fotográficas se remonta a mediados del siglo XVIII, época de origen de la fotografía.

En 1839, Louis Degarre inventó el revelado fotográfico (8).

En 1858, C. Laussedat realizó el primer mapa a partir de fotos aéreas y terrestres y A. Meydenbauer en 1893, introduce por primera vez la palabra fotogrametría (9). Ideó la utilización de fotografías estereoscópicas para documentar edificios (10) de manera que pudieran ser reconstruidos en caso de destrucción. Su archivo de más de 20.000 placas negativas de vidrio se utilizó para reconstruir edificios después de la II Guerra Mundial.

A lo largo del siglo XX la técnica se desarrolló rápidamente pasando por las etapas de la fotogrametría analógica, analítica y digital en sus múltiples versiones: fotogrametría de objeto cercano, fotogrametría terrestre, fotogrametría aérea y fotogrametría satélite.

A principios de la última década del siglo XX se empieza a utilizar la fotogrametría digital en las labores de documentación arquitectónica, a partir de escaneado de película fotográfica y posteriormente a partir de imagen digital.

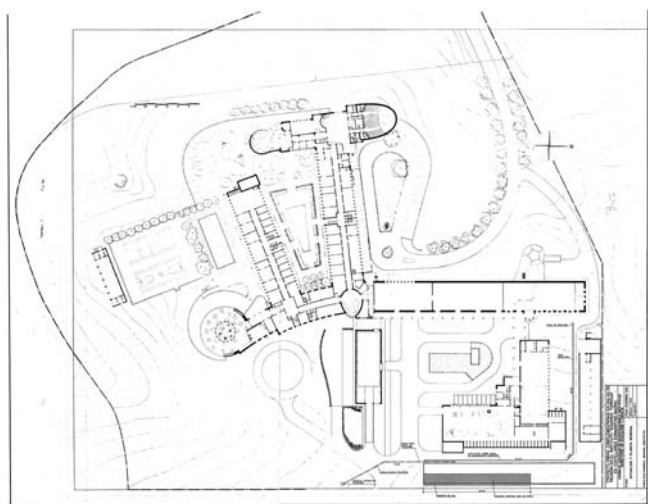


Figura 1. Planta baja del IETCC. (Archivo del IETCC).

El desarrollo de otras técnicas a finales del siglo XX, la electrónica, la fotónica, el reconocimiento de patrones, la visión por ordenador, la automatización en los procesos de producción fotogramétrica, llevan a que la fotogrametría sea una técnica de medición precisa, detallada, que proporciona gran cantidad de información. Debido a su independencia de la escala, a su resolución variable y configurable, permite la extracción de información métrica muy precisa, datos en 2D o en 3D, de textura, capacidad de visualización estereoscópica, etc.

La realización de los primeros modelos fotorrealísticos 3D requería el uso de diversas técnicas (topografía, fotogrametría, realidad virtual e Internet) a fin de visualizar escenarios arquitectónicos con máximo grado de similitud. Se obtenían resoluciones poco altas de las imágenes proyectadas sobre los modelos. A principios del siglo XXI la obtención de modelos se realizaba en base al uso de estación total o GPS.

En la actualidad, existen dos alternativas de obtención de modelos fotorrealísticos 3D: utilizando procedimientos basados en imágenes (11) (12); o la más reciente integrando datos provenientes del escáner láser y las imágenes capturadas con una cámara externa o integrada de alta resolución.

La técnica del escáner láser presenta las ventajas de su rapidez en la captura de puntos y en la creación del modelo 3D y el poder prescindir de la necesidad de tomar puntos de control si existe o minimizar el número de estos sin perder la capacidad de aportar las imágenes fotográficas del objeto representado.

2. PROYECTO ORIGINAL

2.1. Arquitectura general del edificio

El anteproyecto que se presenta en el año 1951 responde al plan de necesidades redactado por Eduardo Torroja, un programa complejo y diverso, «que contemplaba tres usos claramente diferenciados; los relacionados con el trabajo de oficina y laboratorio, los lugares de reunión, debate internacional y difusión de conocimientos, y los ligados a la realización de grandes ensayos experimentales y talleres» (13).

La ubicación en el solar y la volumetría arquitectónica del proyecto propuesto responde a la ordenación de los usos re-

queridos y a la adecuación al terreno y su arboleda (Figura 1). Se obtiene como resultado un edificio predominantemente horizontal macla de ocho cuerpos de diferentes geometrías, que responden cada uno de ellos al uso del programa que recogen. Priorizando así, por encima de la forma global, materializar la idea revolucionaria de Eduardo Torroja de proyectar un nuevo y diferente hábitat, enfatizando las partes por encima del todo.

2.2. Arquitectura del comedor

En el plano general del edificio las piezas de uso singular se ubican en los extremos del conjunto, adoptando formas orgánicas que propicien la relación de la arquitectura con el paisaje.

El comedor se sitúa en el extremo oriental, y su fachada circular acristalada y móvil le permite una gran capacidad de interrelación entre interior y exterior que le hace entrar a formar parte del paisaje en el que se sitúa.

La gran calidez y calidad del espacio creado potenció y potencia la relación de los trabajadores y visitantes del Instituto.

Está definido por una planta circular de 22,44 m de diámetro, con un jardín central delimitado por pilares. La altura libre máxima es de 3,50 m (Figura 2).

La estructura de la cubierta está formada por cerchas metálicas de canto variable con el extremo en voladizo y apoyando el extremo interior en las columnas que rodean el jardín central del elemento. El vuelo de 5,87 m permite la apertura del gran ventanal corredero, y otorga a la cubierta la función de «gran sombrilla» del espacio abierto (Figura 3).

En la construcción original la cubierta se remata con un falso techo de escayola, que en el lucernario central se conforma por lamas curvas entre las tabicas radiales de escayola que se corresponden con las cerchas metálicas.

3. CRÓNICA DEL LEVANTAMIENTO

El proceso operativo seguido para el trabajo de levantamiento realizado en el Instituto Eduardo Torroja, consistió en la toma de datos en campo, el posterior procesamiento de datos y la presentación final de resultados (Figura 4).

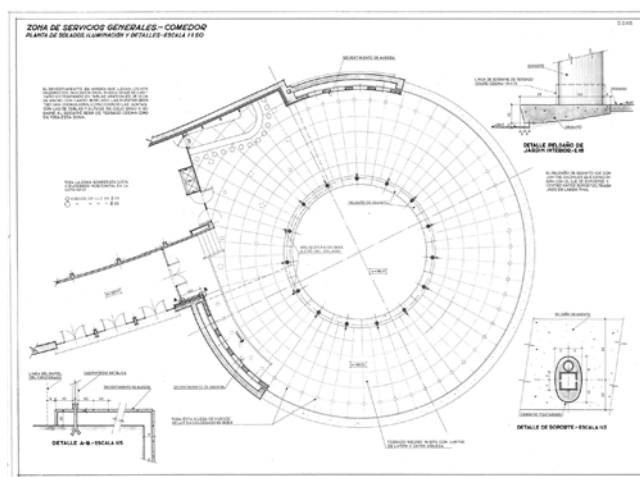


Figura 2. Planta de solados. Comedor (Archivo IETCC).



Figura 3. Fotografía interior del comedor, año 2014.

3.1. Adquisición de los datos

El equipo utilizado para la toma de datos en campo fue un ScanStation C10 que tiene como principales características:

- Equipo de 238 mm × 358 mm × 395 mm, con un compensador de doble eje, plomada láser (precisión de centrado $\pm 1,5$ mm con una huella de 2,5 mm a 1 m) y cámara digital integrada de 4 megapíxeles (formato 1920 × 1920 píxeles) con autoajuste.
- Para el almacenamiento de los datos dispone de un disco en estado sólido pero también se puede conectar a un ordenador portátil externo o una memoria USB externa.
- La precisión mínima obtenida para medida aislada (una desviación estadística) es de ± 6 mm en posición y ± 4 mm en distancia siempre que el objeto se sitúe en una distancia inferior a 50 m.
- La precisión angular mínima obtenida (una desviación estadística) es de 12" tanto en ángulos horizontales como verticales.
- La longitud de onda del láser (clase 3R conforme a CEI 608265-1) es de 532 nm (en la zona del verde) siendo el alcance máximo 300 m. La huella del láser sobre el objeto a 50 m es de 4,5 mm de diámetro y se pueden obtener puntos cada 1 mm a esa misma distancia (50 m).
- El campo de visión horizontal máximo es de 360° mientras que el campo de visión vertical máximo es de 270°. La cámara digital es capaz de obtener 260 imágenes para un escaneado completo del campo de visión.

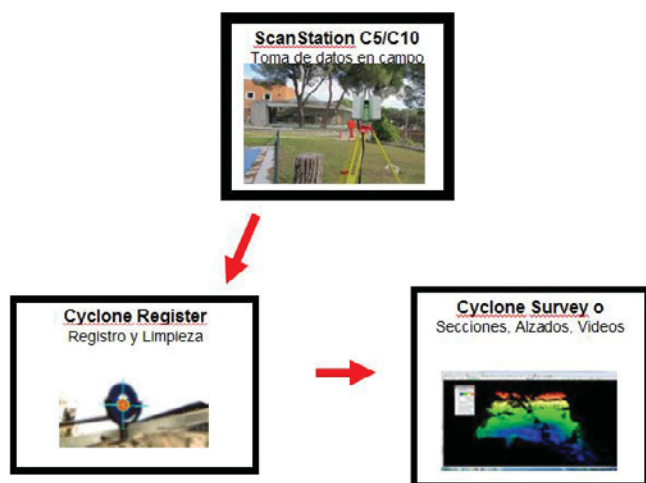


Figura 4. Flujo de Trabajo.

- La frecuencia de muestreo es de 50.000 puntos por segundo siempre que el objeto se sitúe a menos de 50 m.
- Dispone de baterías internas de Ion Litio que aseguran un trabajo continuo de más de 7 horas. También dispone de conectores para baterías externas.

En este tipo de levantamientos también se pueden usar y se usan otras técnicas, como la fotogrametría.

La fotogrametría permite obtener una resolución homogénea, siempre que se trate con un software adecuado. La precisión varía en función de la distancia a la que se encuentra el objeto, del objetivo de la cámara y de la zona del fotograma. La calidad de las imágenes RGB obtenidas es alta, el tiempo en campo necesario para la captura de datos es menor de 5 minutos y el tiempo de postproceso necesario para la obtención de la nube de puntos es de unas 3 horas. La precisión mínima obtenida para la posición de los puntos es de 7 mm, el tiempo de preparación de los puntos de apoyo necesarios para las medidas en campo es alto (superior a 30 minutos).

La técnica de láser escáner permite obtener una nube de puntos muy homogénea, con gran densidad de puntos, con una precisión que depende de la distancia a la que se encuentra el objeto y del ángulo de incidencia. La cámara que lleva incorporado el aparato, permite obtener un color RGB de mediana calidad. El tiempo en campo para la captura de datos es de 35 minutos, con un tiempo de postproceso para obtener la nube de puntos de escasos segundos y con una precisión mínima obtenida en la posición de los puntos de 4 mm. Se requiere un tiempo previo de preparación de los puntos de apoyo de unos 10 minutos.

De todo lo anterior se deduce que el uso del láser escáner está justificado, por la inversión inicial necesaria, siempre que el volumen de los trabajos a realizar sea alto. Para trabajos pequeños o de poca envergadura, el uso de la fotogrametría sigue siendo una opción válida por su reducido coste.

3.1.1. Sistema de referencia

El primer paso consistió en referir a un único sistema de referencia global XYZ el conjunto de datos láser capturados en diferentes sistemas de referencia locales e instrumentales.

Este modelo de escáner permite la posibilidad de geoposicionar los escaneos tanto con el uso de una estación total como con el uso de un GPS (colocando un prisma o una antena sobre el equipo respectivamente), de manera que es posible georreferenciar dichos escaneos usando puntos de control materializados con dianas. Con el posicionamiento de las

Registrations Registration 1								
Registration Edit ScanWorld Constraint Cloud Constraint Viewers Help								
ScanWorlds		Constraint List		ViewPorters				
Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group
C01	Station-001	Station-002	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
C02	Station-001	Station-003	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D01	Station-001	Station-002	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D02	Station-001	Station-003	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D03	Station-001	Station-004	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D04	Station-001	Station-005	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D05	Station-001	Station-006	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D06	Station-001	Station-007	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D07	Station-001	Station-008	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D08	Station-001	Station-009	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D09	Station-001	Station-010	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D10	Station-001	Station-011	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D11	Station-001	Station-012	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D12	Station-001	Station-013	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D13	Station-002	Station-003	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D14	Station-002	Station-004	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D15	Station-002	Station-005	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D16	Station-002	Station-006	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D17	Station-002	Station-007	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D18	Station-002	Station-008	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D19	Station-002	Station-009	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D20	Station-002	Station-010	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D21	Station-002	Station-011	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D22	Station-002	Station-012	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D23	Station-002	Station-013	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D24	Station-002	Station-014	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D25	Station-002	Station-015	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D26	Station-002	Station-016	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D27	Station-002	Station-017	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D28	Station-002	Station-018	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D29	Station-002	Station-019	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D30	Station-002	Station-020	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D31	Station-002	Station-021	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D32	Station-002	Station-022	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D33	Station-002	Station-023	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D34	Station-002	Station-024	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D35	Station-002	Station-025	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D36	Station-002	Station-026	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D37	Station-002	Station-027	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D38	Station-002	Station-028	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D39	Station-002	Station-029	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D40	Station-002	Station-030	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D41	Station-002	Station-031	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D42	Station-002	Station-032	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D43	Station-002	Station-033	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D44	Station-002	Station-034	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D45	Station-002	Station-035	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D46	Station-002	Station-036	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D47	Station-002	Station-037	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D48	Station-002	Station-038	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D49	Station-002	Station-039	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D50	Station-002	Station-040	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D51	Station-002	Station-041	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D52	Station-002	Station-042	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D53	Station-002	Station-043	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D54	Station-002	Station-044	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D55	Station-002	Station-045	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D56	Station-002	Station-046	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D57	Station-002	Station-047	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D58	Station-002	Station-048	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D59	Station-002	Station-049	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D60	Station-002	Station-050	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D61	Station-002	Station-051	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D62	Station-002	Station-052	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D63	Station-002	Station-053	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D64	Station-002	Station-054	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D65	Station-002	Station-055	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D66	Station-002	Station-056	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D67	Station-002	Station-057	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D68	Station-002	Station-058	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D69	Station-002	Station-059	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D70	Station-002	Station-060	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D71	Station-002	Station-061	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D72	Station-002	Station-062	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D73	Station-002	Station-063	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D74	Station-002	Station-064	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D75	Station-002	Station-065	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D76	Station-002	Station-066	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D77	Station-002	Station-067	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D78	Station-002	Station-068	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D79	Station-002	Station-069	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D80	Station-002	Station-070	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D81	Station-002	Station-071	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D82	Station-002	Station-072	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D83	Station-002	Station-073	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D84	Station-002	Station-074	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D85	Station-002	Station-075	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D86	Station-002	Station-076	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D87	Station-002	Station-077	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D88	Station-002	Station-078	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D89	Station-002	Station-079	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D90	Station-002	Station-080	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D91	Station-002	Station-081	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D92	Station-002	Station-082	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D93	Station-002	Station-083	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D94	Station-002	Station-084	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D95	Station-002	Station-085	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D96	Station-002	Station-086	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D97	Station-002	Station-087	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D98	Station-002	Station-088	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D99	Station-002	Station-089	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D100	Station-002	Station-090	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D101	Station-002	Station-091	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D102	Station-002	Station-092	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D103	Station-002	Station-093	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D104	Station-002	Station-094	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D105	Station-002	Station-095	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D106	Station-002	Station-096	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D107	Station-002	Station-097	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D108	Station-002	Station-098	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D109	Station-002	Station-099	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D110	Station-002	Station-100	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D111	Station-002	Station-101	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D112	Station-002	Station-102	Concordant Vertice-Vertice	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.001) m	Ungruoped
D113								

dianas fue posible realizar un ajuste en bloque de todos los barridos realizados (Figura 5), lo que se conoce como registro de las nubes de puntos.

En proyectos de escaneado láser, las posiciones del escáner deben planificarse cuidadosamente con el fin de garantizar la plena cobertura del monumento arquitectónico dentro de las resoluciones y nivel de precisión requerido junto con los solapamientos adecuados.

El proceso operativo en campo consistió en 5 estacionamientos (4 interiores y 1 exterior), 4 de ellos con un campo de vista de bóveda completa, acompañada de una toma de fotografías de la escena de 260 imágenes de 4 Mpx.

En el interior del comedor se hicieron 4 escaneos para evitar que en el modelo final hubiera zonas de sombra. Sin embargo, el hecho de tener un cerramiento acristalado produjo mucho ruido en las nubes de puntos debido a los reflejos que se producen en los cristales.

La duración aproximada de cada escaneo fue inferior a 7 minutos (a la vez se produjo la toma de fotografías) y se generó una nube de más de 32 millones de puntos.

3.2. Procesamiento de los datos láser

Para el procesamiento de los datos se han utilizado varias aplicaciones software.

Para el registro de las nubes de puntos y el correspondiente filtrado de puntos no deseados, se ha utilizado Cyclone REGISTER. Los resultados del escaneo con diferentes grados de filtrado pueden verse en la Figura 6.

Una vez filtrada la nube de puntos 3D, es posible exportar la nube de puntos a los formatos que se deseen, de manera que puedan ser tratados con otros programas específicos de tratamiento de nubes de puntos o incluso con programas CAD, según convenga. En este caso se exportó a formato .PTS, que da las coordenadas XYZ de cada punto más la intensidad reflejada y los valores RGB de la superficie, y se trabajó con el programa 3DReshaper. En la Figura 7 se muestra la nube de puntos tridimensional en dos formas de representación, con el RGB de la imagen de la cámara y una imagen sintética crea-



Figura 6. Escaneos unidos con diferentes grados de filtrado.

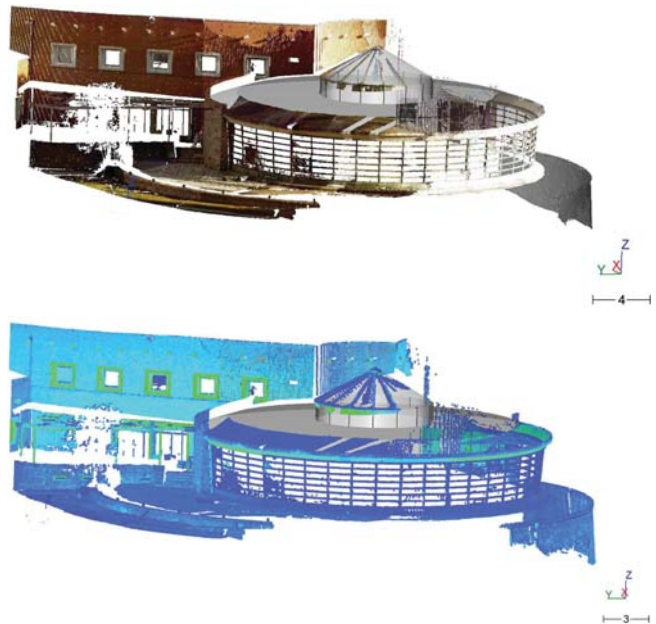


Figura 7. Nube de puntos 3D representada con RGB e imagen sintética.

da a partir del nivel de intensidad del rayo reflejado del láser escáner.

3.3. Postprocesamiento de los datos láser

A partir del modelo 3D generado con las nubes de puntos es posible generar la documentación 2D a fin de comparar el estado actual del edificio con los planos del proyecto y *as built*. Los planos de la planta, alzados y detalles se obtienen como ortoimágenes del modelo 3D o secciones de éste. Además presenta el valor añadido de obtener perspectivas del modelo 3D desde cualquier punto. A continuación se muestran a modo de ejemplo algunas de estas salidas gráficas.

3.3.1. Perspectivas

Para realizar las perspectivas se pueden utilizar dos técnicas diferentes:

- superponiendo a la nube de puntos 3D la fotografía digital realizada con el equipo escáner láser desde la misma estación y parámetros con los que se realizó el escaneo (ver apartado 3.3.3. Publicación en internet).
- representando directamente la nube de puntos con el valor RGB obtenido de la fotografía para cada uno de los puntos de la nube (Figura 8).

3.3.2. Alzados y plantas

Los alzados y las plantas son ortoimágenes del modelo 3D. Las técnicas de coloración han sido distintas. En los alzados



Figura 8. Perspectiva fachada nube.

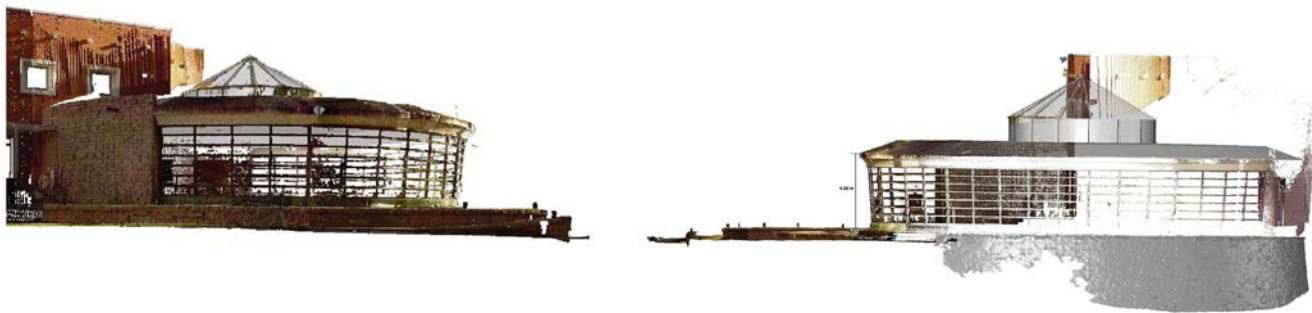


Figura 9. Alzados fachada exterior.



Figura 10. Alzado interior comedor RGB.



Figura 11. Alzado interior comedor RGB.



Figura 12. Nube tridimensional, vista interior.

se ha vuelto a utilizar el valor RGB de cada punto, mientras que en las plantas se ha utilizado una escala de grises para el techo y otra escala de grises para el suelo, con los valores de la intensidad de la señal reflejada del rayo láser en cada punto (imagen sintética por nivel de intensidad).

Respecto a los alzados, dos son del exterior (Figura 9) y dos del interior del comedor (Figuras 10 y 11).

Se puede observar que al ser ortoimágenes y al haber realizado solamente un escaneo exterior, se ven en los alzados de las fachadas las zonas de sombra debido a la presencia de árboles u otros elementos arquitectónicos.

Para realizar los alzados del interior del comedor se seccionó el modelo 3D por un plano vertical diametral y se obtuvieron las ortoimágenes de las dos mitades resultantes. De esta forma se puede observar la pendiente existente hacia el centro del techo del comedor (Figuras 10 y 11).

Para obtener las plantas interiores de techo y suelo se realizaron cortes al modelo 3D por planos horizontales a distinta altura (Figura 12).

La planta del comedor fue de difícil obtención debido a que la calidad de los puntos del suelo no era buena y debido también a la existencia de los correspondientes círculos de sombra en las zonas de estación del equipo y a la gran cantidad de mobiliario. Como consecuencia la planta se obtuvo como una vista superior de una sección a poca altura del suelo (Figura 13). Esta es la razón de que solo aparezcan las líneas de fachada y otras barreras arquitectónicas interiores.

En el caso del techo (Figura 13) se pueden apreciar los puntos dónde se hicieron los estacionamientos para los cuatro escaneos ya que en la vertical de estos la intensidad del rayo reflejado era máxima.

3.3.3. Publicación en internet

Se publican las nubes de puntos en formato html para ser visualizadas por los diferentes navegadores.

Se pueden generar tres tipos de productos:

- Imágenes sintéticas de intensidad (14).
- Fotografía del escáner láser.
- Imagen en color verdadero (RGB).

Dicho modelo puede ser visualizado mediante el software gratuito de Leica TruView (Figura 14) diseñado para ver, me-

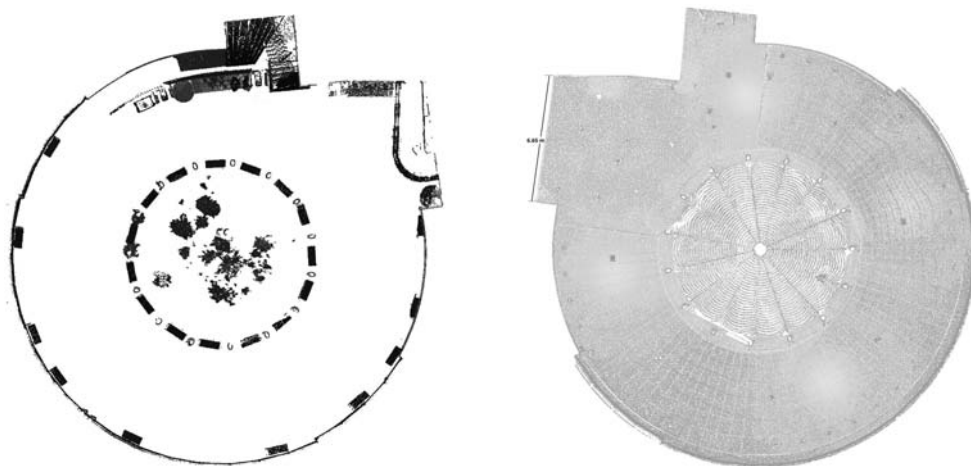


Figura 13. Planta de suelo y planta de techo del comedor.

dir o marcar datos a partir de una nube de puntos y sus fotografías digitales recogido con un escáner láser (15).

3.4. Aplicaciones

Al ser los alzados y las plantas ortoimágenes de las nubes de puntos se pueden usar para una amplia variedad de aplicaciones, como la generación de secciones a la altura deseada para delinear directamente sobre ellas (Figura 15).

Se pueden realizar cálculos geométricos directamente y medir elementos arquitectónicos (Figura 16).

3.5. Análisis comparativo

Con la información obtenida del levantamiento es posible realizar una comparación con los planos originales y así po-

der generar una documentación actualizada, uno de los objetivos del trabajo realizado.

A modo de ejemplo, en la Figura 17 se pueden observar las diferencias que existen entre el plano original de la cubierta interior y el estado actual.

En la Figura 18 se puede observar cómo la nube de puntos refleja fielmente el estado actual de la edificación.

4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un levantamiento mediante escáner láser para la obtención de datos 3D del comedor del IETcc, que

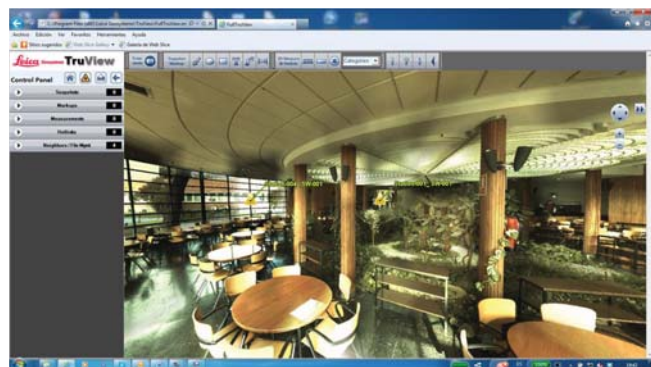
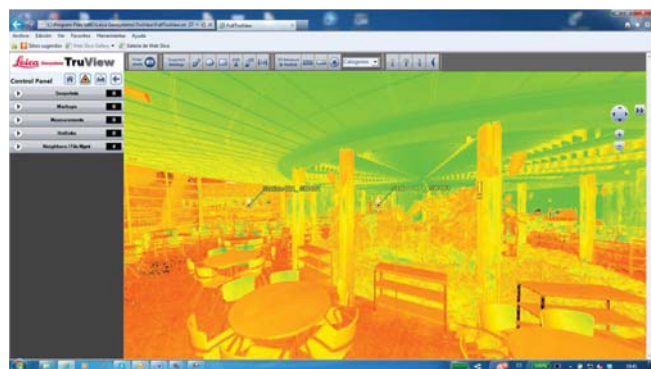


Figura 14. Pantalla del programa TruView. Imagen sintética y fotografía obtenida con el escáner láser.



Figura 15. Generación de secciones a la altura deseada para delinear directamente.

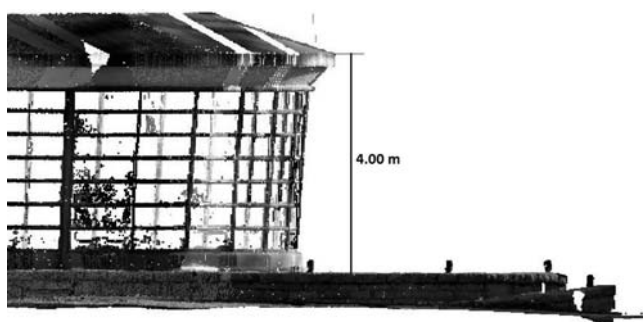


Figura 16. Medidas generales (altura cornisa).

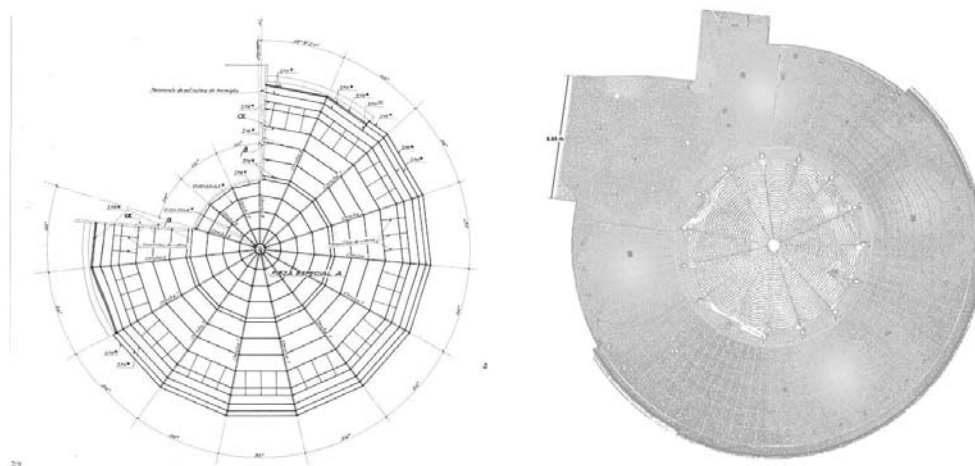


Figura 17. Plano original y estado actual.

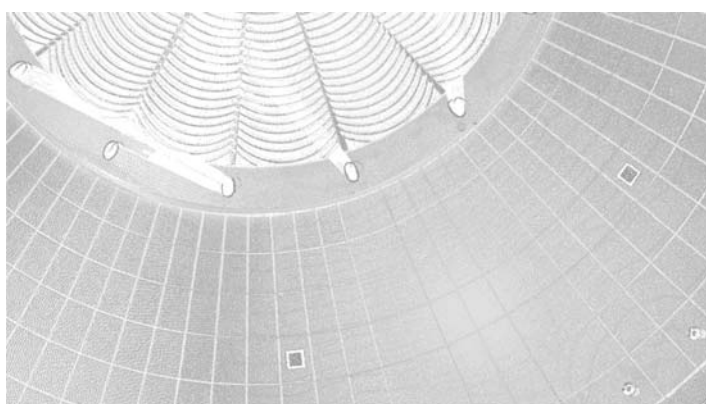


Figura 18. Detalle del escaneado y fotografía del estado actual.

permita la posterior actualización de los planos contenidos en el archivo del Instituto Torroja.

El láser es una técnica rápida y precisa en las labores de reconocimiento y análisis del patrimonio. En concreto, en el trabajo que se presenta, la toma de datos completa se realizó en tres horas.

Al ser el producto final un modelo 3D, permite la medida directa de elementos y el acceso directo a las coordenadas XYZ de cualquier punto. En una etapa posterior se puede realizar, a partir de sus ortoimágenes la delineación directa de planos.

Esta técnica de toma de datos supone un avance en la disminución de plazos y costes frente a las técnicas tradicionales de medida.

Los productos finales obtenidos del escaneo, al estar todos sus puntos georreferenciados, es posible introducirlos directa-

mente en programas como Sistemas de Información Geográfica, cuya capacidad de análisis puede proporcionar una amplia gama de salidas cartográficas y arquitectónicas 2D y 3D.

Con este trabajo se ha obtenido documentación actualizada y precisa del estado actual del comedor, que ha sufrido modificaciones con respecto a los planos originales.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Eduardo Torroja, a su director y a Rafael Piñeiro y Jesús González de Asistencia Técnica, por toda la ayuda prestada.

A los profesores de la ETSI de Caminos (UPM): Rubén Martínez y Miguel Marchamalo, por su colaboración en la edición de los datos.

A la empresa Leica Geosystems, en la persona de Ángel Herranz por la ayuda prestada para la adquisición de los datos.

REFERENCIAS

- (1) Lerma, J. L., Van Genechten, B., Heine, E., Santana, M. (2008). *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre. Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas*. Proyecto Leonardo da Vinci 3D Risk Mapping. http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf.
- (2) Blais, F. (2004). Review of 20 years of range sensor development. *Journal of Electronic Imaging*, 13(1): 231-243, doi: <http://dx.doi.org/10.1117/1.1631921>.
- (3) Böhler, W. (2006). Comparison of 3D laser scanning and other 3D measurement techniques. En Baltsavias, M., Gruen, A., Van-Gool, L., Pateraki, M. (Eds.) *Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage*, (pp. 89-99). Londres: Taylor & Francis Group.
- (4) Biosca, J. M., Navarro, S., Lerma, J. L. (2007). Modelado tridimensional de una bóveda barroca mediante la combinación de láser escáner y fotogrametría terrestre. En *7ª Setmana Geomàtica Barcelona*. <http://jllerma.webs.upv.es/papo21.pdf>.
- (5) Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., Villaverde, V. (2010). Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, 37(3): 499-507, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.10.011>.
- (6) Navarro, S., Seguí, A. E., Portalés, C., Lerma, J. L. (2009). Integration of TLS data and non-metric imagery to improve photo models and recording. A case study on Djin Block No. 9, Petra (Jordan). En *Proceedings of the 15th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, (pp. 58-63). Viena: IEEEComputer Society.
- (7) Santana-Quintero, M., Blake, B., Eppich, R. (2007). Conservation of Architectural Heritage: The Role of Digital Documentation Tools: The Need for appropriate teaching material. *International Journal of Architectural Computing*, 2(5): 240-253, doi: <http://dx.doi.org/10.1260/1478-0771.5.2.240>.
- (8) Wolf, P. R., Dewitt, B. A. (2000). *Elements of photogrammetry with applications in GIS*. Boston: McGraw-Hill.
- (9) Lerma-García, J. L. (2002). *Fotogrametría moderna: analítica y Digital*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- (10) Albrecht, J. (2001). Albrecht Meydenbauer - Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage. En *Proceedings 18th International Symposium CIPA*, (pp. 21-25). Potsdam, Germany.
- (11) Schouteden, J., Pollefeys, M., Vergauwen, M., Van-Gool, L. (2001). Imagebased 3D acquisition tool for architectural conservation. *The International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34, Part 5/C7: 301-305.
- (12) Cabrelles, M., Seguí, A. E., Navarro, S., Galcerá, S., Portalés, C., Lerma, J.L. (2010). 3D Photorealistic Modelling of Stone Monuments by Dense Image Matching. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, Part 5: 121-124.
- (13) Azorín, V., Cassinello, P., Monjo, J. (Eds.) (2012). *Archivo Eduardo Torroja, de la investigación en ciencias de la construcción y de su innovador hábitat (IETCC)*. Madrid: IETcc-CSIC.
- (14) Álvarez, M., Rodríguez, R., Díez, A., Aguirre, J., Miranda, M. (2012). Generación de modelos estereoscópicos sintéticos. En *Congreso Topcart 2012*.
- (15) Leica TruView & Cyclone PUBLISHER. http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-TruView-Cyclone-PUBLISHER_64524.htm.

* * *